



EESTI MAAÜLIKOOL  
Tehnikainstituut

**Sander Värä**

**Kütusekulu mõõteseade reaspumbaga diiselmootorile**

Fuel consumption device for diesel engine with inline injection  
pump

Bakalaureusetöö  
Tehnika ja tehnoloogia õppekava  
Tootmistehnika eriala

Juhendajad: dotsent Risto Ilves, PhD  
Arne Küüt, PhD

Tartu 2019

# LÜHIKOKKUVÕTE

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Sander Värä		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Kütusekulu mõõteseade reaspumbaga diiselmootorile			
Lehekülgi: 55	Jooniseid: 24	Tabeleid: 0	Lisasid: 5
Osakond: Biomajandustehnoloogiate õppetool Uurimisvaldkond: 4. Loodusteadused ja tehnika Juhendaja(d): dotsent Risto Ilves, PhD; Arne Küüt, PhD; Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2019			
<p>Aktuaalselt kajavad meedias teemad, kuidas kasvuhoonegaaside kontsentratsioon atmosfääris kasvab ning sellega kaasnevad probleemid muudavad varsti Maa elamiskõlbmatuks. Seega tuleb teha endast kõik olenev, et üritada vähendada kasvuhoonegaaside emissiooni. Väga suurt rolli mängib optimaalse sõidustiili kasutamine, kuid vanematel autodel, mida on liikluses näha väga palju, puudub võimalus jälgida reaalses kütusekulu. Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on anda ülevaade diiselmootorist ning selle toitesüsteemist, võrrelda olemasolevaid seadmeid ning välja töötada mõõteseade reaspumbaga varustatud sõidukile. Valmis seade jääb kasutusele autokooli, kus õpilane saab võrrelda enda tulemusi enne ja pärast ökosõidu lõppastme koolitust. Kõige primitiivsema seadme maksumus on 6,64€ kuid kui soovida täpset mõõtetulemust tuleks seadet edasi arendada. Edasiarendatud seadme maksumuseks jääb töö koostamise hetkel ligikaudu 25€.</p>			
Märksõnad: keskkonnasääst, uudne lahendus, kütusekulu vähendamine			

# ABSTRACT

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Sander Värä		Curriculum: Technics and technology	
Title: Fuel consumption device for diesel engine with inline injection pump			
Pages: 55	Figures: 24	Tables: 0	Appendixes: 5
Department: Chair of Biosystems engineering Field of research: 4. Natural Sciences and Engineering Supervisors: assistant professor Risto Ilves, PhD, Arne Küüt, PhD Place and date: Tartu 2019			
<p>Every day an article is published about how greenhouse gases concentration keeps growing and due to that the planet Earth will soon be inhabitable. So it is up to us to try and reduce our carbon footprint. A big role in this is choosing the correct way of driving a vehicle but older vehicles, which still drive around in traffic, do not have the option to monitor fuel consumption in real-time. This thesis is written to provide a detailed description of diesel engines, how high-pressure pump works and working principles of an in-line injection pump. There is a detailed description of devices, that are currently on the market to measure fuel consumption in the end of first chapter. In the second chapter the development of self-made fuel consumption device starts. The developed device will be used in driving school to show the driver how choosing optimal driving manners can change fuel consumption, which is important to save the environment. The most basic device has a cost of 6.64 €. This device is very primitive since it does not have an output display to show the result of experiment. It also does not take into account the amount of fuel that returns from the return lines. To get more accurate reading, a flow sensor needs to be implemented. To get a better reading of the experiment, a LCD display was added. This totals up the sum of the device to around 25 € which is nearly 4 times as expensive as the most basic device, but still is cheap enough to prefer it over the devices that are currently on the market.</p>			

Keywords: fuel consumption device, environment saving, innovative solution

# SISUKORD

<b>LÜHIKOKKUVÕTE .....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>Sissejuhatus.....</b>	<b>6</b>
<b>1. DIISELMOOTOR JA SELLE TÖÖPÕHIMÕTE.....</b>	<b>8</b>
1.1 Neljataktilise diiselmootori tööpõhimõte.....	9
1.2 Küttesegu moodustumine diiselmootorites .....	11
1.3 Kõrgsurvepump.....	12
1.3.1 Reaspumba tööpõhimõte .....	15
1.4. Olemasolevate kütusekulu mõõteseadmete võrdlus .....	18
<b>2. SEADME KOOSTAMINE.....</b>	<b>24</b>
2.1 Projekteeritava seadme tööpõhimõte .....	25
2.3 Halli anduri programmeerimine.....	26
2.4 Ultrahelianduri (US-015) programmeerimine.....	27
2.5 Andurid koos töötamas.....	28
2.6 Käskluste programmeerimine LCD-displeile .....	30
2.7 Katse läbiviimine .....	31
<b>3. ARVUTUSED .....</b>	<b>33</b>
<b>KOKKUVÕTE .....</b>	<b>35</b>
<b>KASUTATUD KIRJANDUS .....</b>	<b>36</b>
<b>LISAD.....</b>	<b>38</b>

## SISSEJUHATUS

Tihti kajastatakse meedias uudiseid, kuidas kasvuhoone gaaside kontsentratsioon atmosfääris iga hetk ainult kasvab. Kasvuhoonegaaside vähendamiseks on mitmeid võimalusi, näiteks efektiivsete küttesüsteemide kasutamine või energia efektiivsem kasutamine olemasolevates seadmetes. Heaks näiteks on transpordis kasutatavad sõidukid. Sõiduki juht saab oluliselt vähendada sõiduki kütusekulu, kasutades vastavaid sõiduvõtteid. Kütusekulu vähendamisega kaasneb ka keskkonnasaaste vähenemine.

Vaadates üldist liikluspilti Eestis, võib tõdeda, et kasutusel on palju vanu veoautosid ja busse, mille mootorid on varustatud vanemat tüüpi toitesüsteemidega. Nende toitesüsteemide eeliseks on see, et nad on töökindlad ning madalate hoolduskuludega, aga sellega kaasnevad ka probleemid – nende lihtsuse tõttu pole võimalik reaalselt jälgida, kui palju kütust sõiduk reaalselt kulutab. Juhtimisõiguse omandanud isikule küll räägitakse keskkonnasäästliku sõidu põhimõtetest vastaval lõppastme koolitusel, kuid kui inimene on eelnevalt sõitnud valede sõidupõhimõtete järgi, läheb ta enda vanade harjumuste juurde tagasi. Kütusekulu mõõtmine sõiduõppe seisukohast on oluline tegur tulevase juhi keskkonna säästlike sõidumaneeride arendamisel. Paljud veoautod ning bussid, mis on autokoolides kasutusel, on vanad sõidukid, millel pole võimalik reaalajas kütusekulu mõõta ning ka tänu sellele on keerukam luua õpilasele pilti, kuidas sõidumaneeride muutmine keskkonda mõjutab.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on projekteerida kütusekulu mõõteseade reastüüpi kõrgsurvepumbaga varustatud diiselmootorile.

Töö eesmärgi täitmiseks püstitati järgmised ülesanded:

- 1) anda ülevaade diiselmootorist;
- 2) anda ülevaade reastüüpi kõrgsurvepumba tööpõhimõttest ja konstruktsioonist;
- 3) anda ülevaade olemasolevatest kütusekulu mõõteseadmetest
- 4) projekteerida kütusekulu mõõteseade diiselmootorile;
- 5) konstrueerida kütusekulu mõõteseade ja viia läbi esmased katsetused.

Valmis töötatud seade jääb kasutusse õppe-eesmärgil autokoolis.

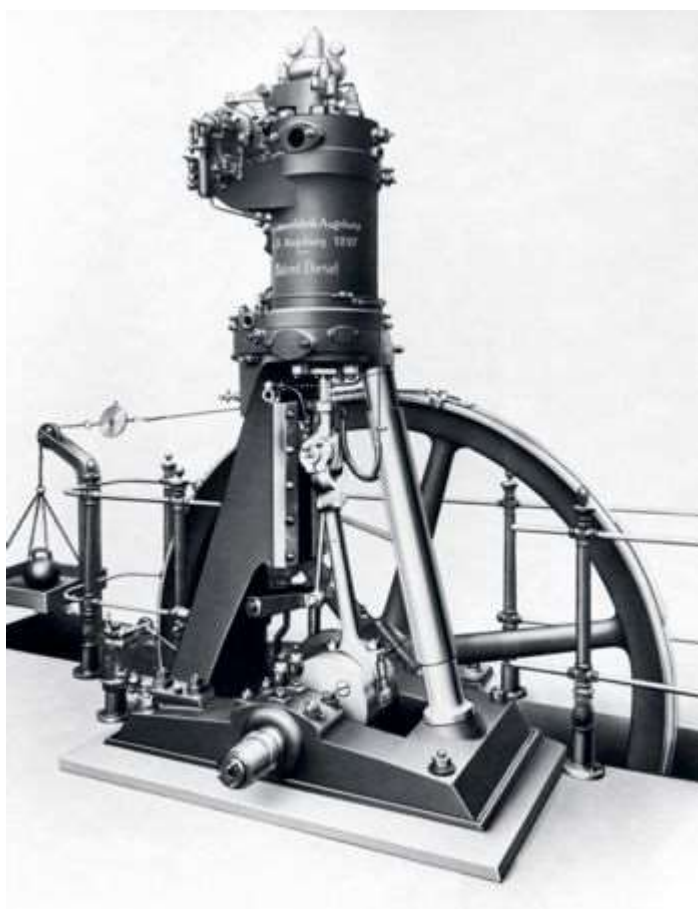
Töö esimene osa sisaldab lühikest ülevaadet diiselmootori ja reaspumba tööpõhimõttest. Samuti antakse ülevaade turul olemasolevatest kütusekulu mõõteseadmetest. Töö teine osa sisaldab ülevaadet lõputöö käigus projekteeritud ja koostatud kütusekulu mõõteseadmest.

Teise osa lõpus katsetatakse seadet. Töö kolmandas osas esitatakse arvutused seadme maksumuse kohta.

Töö autor soovib tänada juhendajat Risto Ilvest, kes oli väga abivalmis materjali otsimisel ning sisu korrastamisel ning Erkki Poleštšuki, kes aitas töö autorit programmeerimise poole puudujääkidega.

# 1. DIISELMOOTOR JA SELLE TÖÖPÕHIMÕTE

Diiselmootor sai alguse 1897. aastal, kui Rudolf Diesel koostöös Maschinenfabrik Augsburg-Nürnbergiga (MANiga) ehitas esimese töötava prototüübi sisepõlemismootorist, mis töötas odava raskekütuse pealt. Probleem seisnes selles, et see motor kaalus ligikaudu 4,5 tonni ja oli 3 meetri kõrgune – sellel põhjusel antud mootorit ei loetud olevat valmis kasutuseks sõidukites. Ent aastate pikuste arendustega on diiselmootorid muutunud asendamatuks lahendusteks meresõidukites ja statsionaarsetes mootorites. [1, lk 2]



**Joonis 1.1** Rudolf Dieseli 3. proovimootor, mida kasutati 1897. aasta katsetustel [2].

Diiselmootor on sisepõlemismootori tüüp kus kütus ja õhk segatakse mootoris sees. Põlemiseks vajalik õhk on väga kõrge rõhu all süttimiskambris. See toodab kõrgeid temperatuure, mis on piisavad selleks, et kütus süttiks spontaanselt, kui seda pihustatakse silindrisse. Seega diiselmootor kasutab kuumust, et vabastada keemilist energiat, mida sisaldab endas diislikütus, ning muundada see mehaaniliseks jõuks. Diiselmootor on



sisepõlemismootoritest kõige efektiivsem – enamikes madalatel pööretel toimivatel (veoautod, bussid, laevad) diiselmootoritel jääb kasutegur üle 50%.

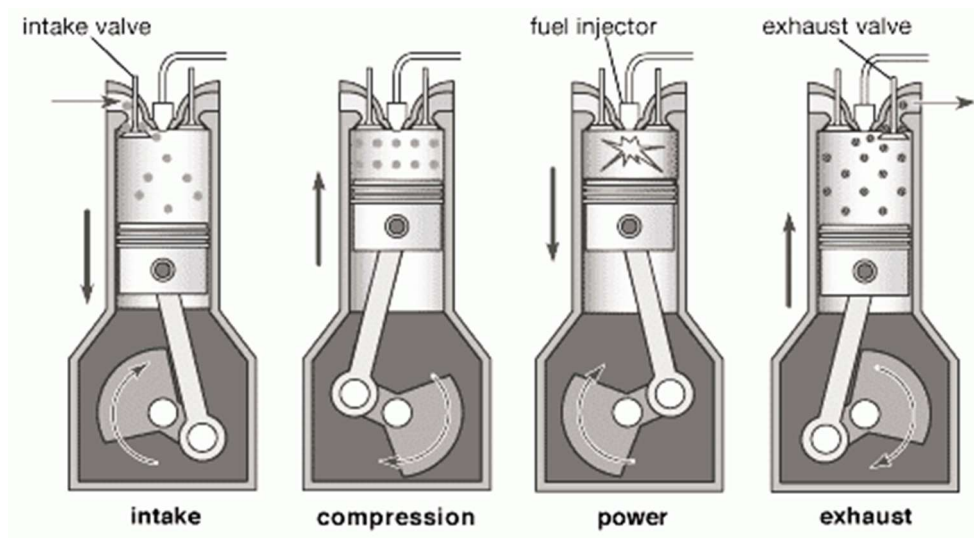
Diiselmootorid ei ole võimelised arendama kõrgeid pöördeid efektiivselt, kuna diislikütus on raskekütus ning kõrgetel pööretel ei jõua kütus lõpuni põleda mis põhjustab mootori liigset tahmumist ning põlemata kütus väljub väljalaskest otse keskkonda. Mootoris on mehaanilised pinged suuremad kõrge surveastme tõttu ning sellepärast peab kasutama vastupidavamaid osi, ent see teeb diiselmootori raskemaks võrreldes analoogse ottomootoriga.

Madal kütusekulu, madalad heitgaasi kogused ja optimaalsed töötamiskarakteristikud kombineerituna annavad diiselmootorile tähtsuse, mille see on endale tänapäeval saanud. Diiselmootoritele sobib oma ehituse tõttu väga hästi ülelaadimine. See mitte ainult ei tõsta mootori jõudlust ja kasutegurit, vaid see ka vähendab reostavaid heitgaase ja põlemismüra. Et vähendada NO<sub>x</sub> emissioone autodel ja komertssõidukitel, väike osa heitgaasidest suunatakse tagasi mootori sisselaskekoldest. Diisel mootoreid on kahe- ning neljataktilisi. Valdavalt kasutatakse mootorsõidukites neljataktilisi mootoreid. [1, lk 16]

## **1.1 Neljataktilise diiselmootori tööpõhimõte**

Diiselmootori silindrisse juhitakse õhk ja kütus eraldi. Diiselmootori silinder täidetakse puhta õhuga, see järel surutakse õhk kokku, mistõttu selle temperatuur ja rõhk märkimisväärselt suurenevad. Survetakti lõpus lisatakse silindrisse peeneks piisakesteks pihustatud vedelkütus, mis kukkupuutel kuuma õhuga ise süttib. Neljataktilise diisli töösükkel kulgeb järgmiselt.

Sisselasketakti alguses avaneb sisselaskeklapp ning sellel hetkel on väljalaskeklapp suletud. Kolb liigub silindris alla, tekitades selles õhu hõrenduse ja sellega imetakse silindrisse sisselaskeklapi kaudu värske õhk. Sisselaske takt lõpeb siis kui kolb on jõudnud alumisse surnud seisu ( on teinud pool vääntvõlli pööret). [3, lk 23...26]



**Joonis 1.2** Neljataktilise mootori töötsükkel [4].

Peale sisselasketakti tuleb survetakt, kus sulgub sisselaskeklapp, kolb hakkab liikuma tagasi ülesse, surudes õhku kokku - takt lõppeb kui kolb jõuab ülemisse surnud seisule (on kokku teinud esimese täis ringi). [3, lk 23...26]

Survetakti järel algab 3. töötakt, kus pihustatakse kütus silindrisse, kus osa kütusest kokkupuutel kuuma õhuga koheselt aurustub, ülejäänud kütus süttib ning põlemise käigus tekivad gaasid suruvad kolvi alla. Põlemine toimub nii kaua, kuni pihustatakse põlemiskambris kütust ning põlemiskambris peab olema alati piisavalt hapnikku, et toimuks ühtlane põlemine ja mootor ei tahmaks ära. Survetakt lõppeb sellega, kui kolb jõuab jälle alumisse surnud seisule. [3, lk 23...26]

Viimane takt on väljalaske takt, kus avatakse väljalaske klapp, kolb liigub alt ülemisse asendisse ning sellega ka eemaldab mootorist põlemisjäägid (gaasid ja tahmaosakesed) ja paiskab need atmosfääri või uuematel sõidukitel järeltöötlus seadmetesse (katalüsaator ja DPF).

## 1.2 Küttesegu moodustumine diiselmootorites

Diiselmootoris toimub küttesegu moodustamine silindrites järgmiselt: kütus pritsitakse silindritesse läbi pihustite ning rõhu all, mis ületab mitmekordselt silindrites survetakti lõpus kokkusurutud õhu rõhu. Hõõrdumise tõttu õhus puruneb kütusejuga ülipeeneteks kütusepiisakesteks, mis moodustavad koonusekujulise kütusefaakli. Kütusefaakli nurk sõltub põhiliselt pihustidüüsi kujust ning mõõtudest, kütuse sissepritse rõhust, õhurõhust silindris ja kütuse kvaliteedist.

Kuna segu valmistatakse diiselmootori silindris väga lühikese aja jooksul ning asjaolu, et diislikütus on madala auruvusega, raskendavad küttesegu moodustumise protsessi.

Et saada küttesegu, mis täielikult ja kiiresti ära põleks, on vaja kütus pihustada võimalikult peeneteks piisakesteks, nii et iga kütuse piisake oleks ümbritsetud tema täielikuks põlemiseks vajamineva hapnikuhulgaga. Kuna niisugust pihustatud kütuse ühtlast jagunemist põlemiskambris oleva õhuga on raske saavutada, antakse diiselmootori silindrisse õhku rohkem, kui seda teoreetiliselt tarvis oleks. Diiselmootori keskmise efektiivrõhu suurendamiseks ja liigõhuteguri vähendamiseks tuleb täita järgmised tingimused:

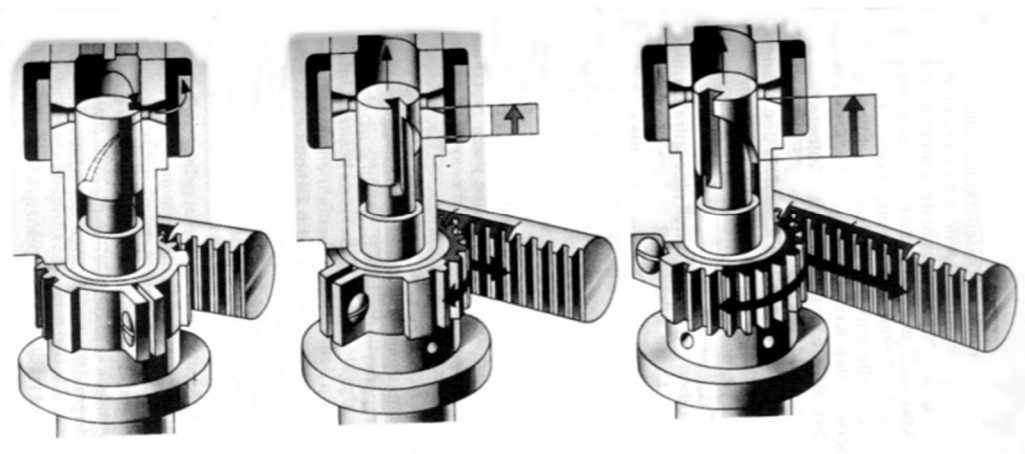
- 1) kütusefaakli kuju ja põlemiskambri kuju peavad olema kooskõlastatud;
- 2) põlemiskambris tuleb tekitada intensiivne õhuvool, mis aitab kütusel seguneda õhuga enne isesüttimist ning mis viib tarvitamata hapnikuosakesed põlevate kütuseosakeste lähedale
- 3) kütus tuleb pihustada ülipeeneteks piisakesteks
- 4) kütus peab olema pihustatud ühtlaselt põlemiskambris – ehk pihustatud kütuse piisakesed peavad olema ühesugused suuruselt
- 5) kütusefaakli läbitungivus peab olema piisav – pihustatud kütuseosakesed peavad küllaltki sügavale silindris kokkusurutud õhku

Esimesed kaks tingimust täidetakse spetsiaalse kujuga põlemiskambriga. Kütuse pihustuse peensust ja ühtlust muudetakse kahel viisil : a) pihusti düüsi läbimõõdu ja kütuse viskoossuse vähendamisega; b) sissepritsimise rõhu suurendamisega, kuna sellega kasvab ka kütusejoa kiirus.

Kütusefaakli ulatus peab olema selline, et kõik kütuseosakesed jõuaksid ära põleda enne põlemiskambri seina vastu pörkumist. Mootori pöörlemiskiiruse suurendamisel suureneb ka faakli ulatus, sest tema voolumise kiirus samuti kasvab. [3, lk 155...156]

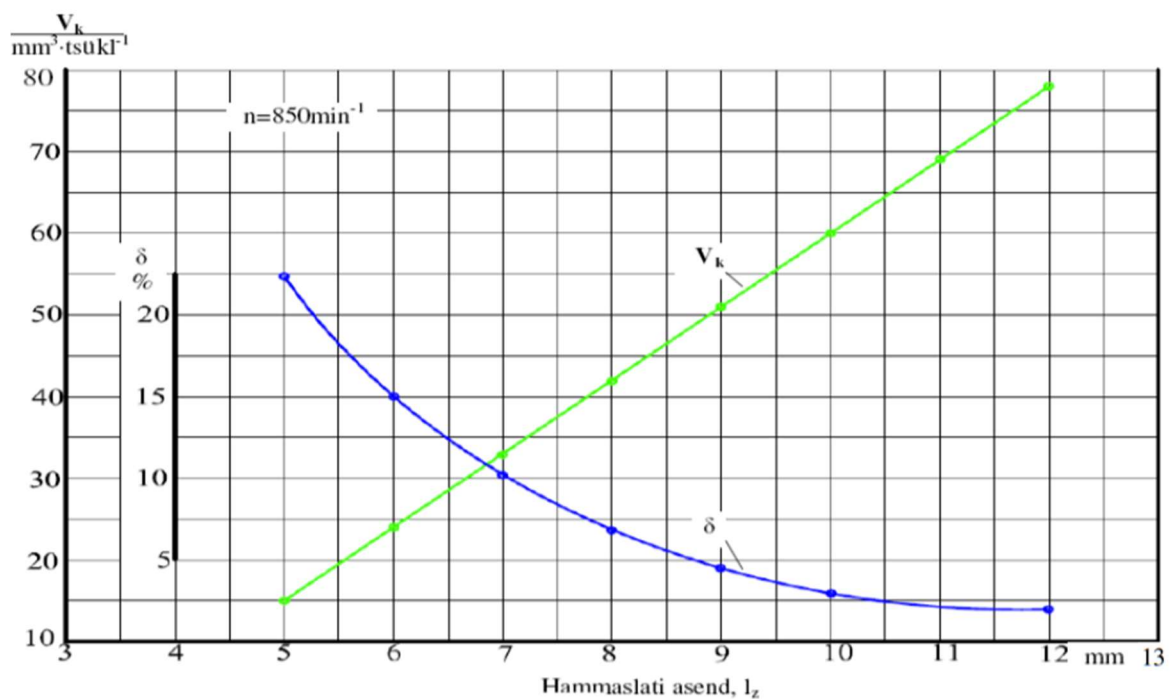
### 1.3 Kõrgsurvepump

Kõrgsurvepumba ülesandeks on anda iga silindri pihustisse nõutava rõhu all kütust kindlaksmääratud momendil ja kindlate ajavahemike järel ning täpsetes kogustes, mis peavad vastama mootori koormusele antud ajahetkel. Kuna mootori jõudluse määrab kõrgsurvepumba tootlikus, siis üheks kõrgsurvepumba iseloomustavaks näitajaks on etteandekarakteristik. Etteandekarakteristik näitab mootoris pritsitava kütusekoguse sõltuvust plunžripaari ehitusest, kuna plunžri spiraaljoone ehk katkestusserva kaldenurga suurusest oleneb pumbasektsiooni tootlikus. Plunžri katkestusserva asend hülsi väljalaskeava suhtes määrab, kui palju kütust läbi kütusetoru pihustisse pumbatakse. Plunžrit hülsis keerab hammaslatt, liikudes edasi-tagasi. [5, lk 6]



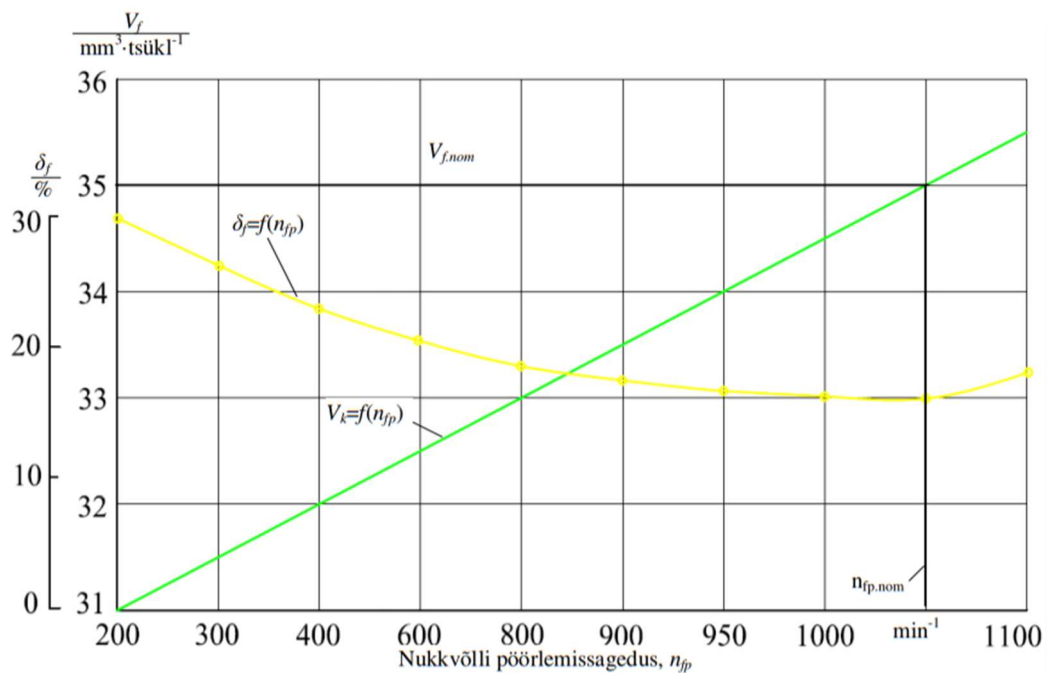
**Joonis 1.3** Kõrgsurvepumba plunžripaari kütuse doseerimise printsiip [5, lk 6]

Kütuse etteannet mõjutab veel ebaühtlustegur  $\sigma_f$ , mis iseloomustab kõrgsurvepumba sektsioonialementide koostetäpsust. Ebaühtlustegur tsüklietteande kasvamisel väheneb – suhteline viga suuremate väärtuste korral on väiksem. [5, lk 6]



**Joonis 1.4** Kõrgsurvepumba etteandekarakteristik [5, lk 7].

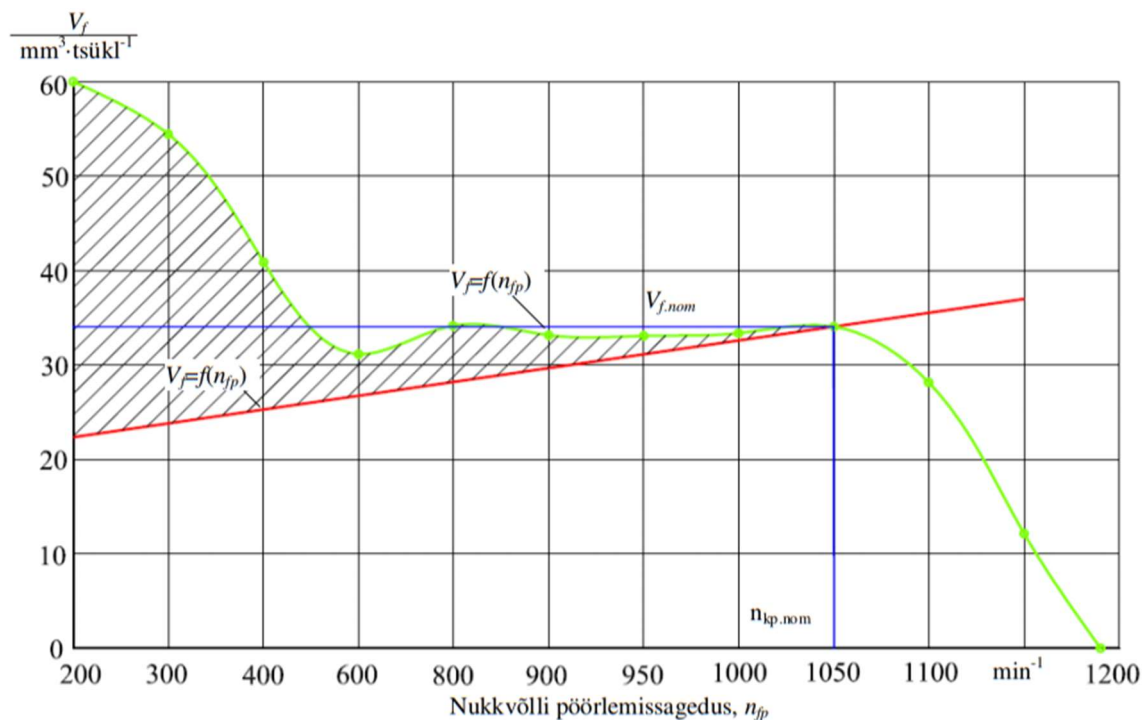
Veel üheks määravaks karakteristikuks kõrgsurvepumba töös on kiiruskarakteristik. Antud karakteristik näitab pumba töö sõltuvust mootori pöörlemissagedusest. Madalatel pööretel tsüklietteanne väheneb ning seda põhjustab pumbapea kanalis kütuserõhu langus ning selletõttu plunžripaari pindade vahelt kütuse läbijooks suureneb ja täitumistegur on madal. Mootori pöörete kasvades hakkab tõusma ka pumbapea kanalis kütuserõhk ning suureneb ka täitumistegur tuues kaasa ka tsüklietteande kasvu. [5, lk 18]



**Joonis 1.5** Kõrgsurvepumba kiiruskarakteristik [5, lk 20].

Regulaatorkarakteristik on tähtsaim kõrgsurvepumba karakteristik kuna see näitab kütuse tsüklietteande sõltuvust pöörlemissagedusest juhul, kui etteandelatt on ühendatud regulaatoriga. Selle arvuliste väärtustega määratakse mootori töökindlus ja tema väljundparameetrite efektiivsus. Regulaatorkarakteristik iseloomustab mootori aparatuuri tööd.

Käivitamisel lülitub rikasti töösse - kütust ja õhku lastakse silindrisse maksimaalselt ehk tsüklietteanne on maksimaalne. Mootori käivitumisel lülitub rikasti välja, etteanne väheneb ning mootori töö ühtlustub. [5, lk 23]



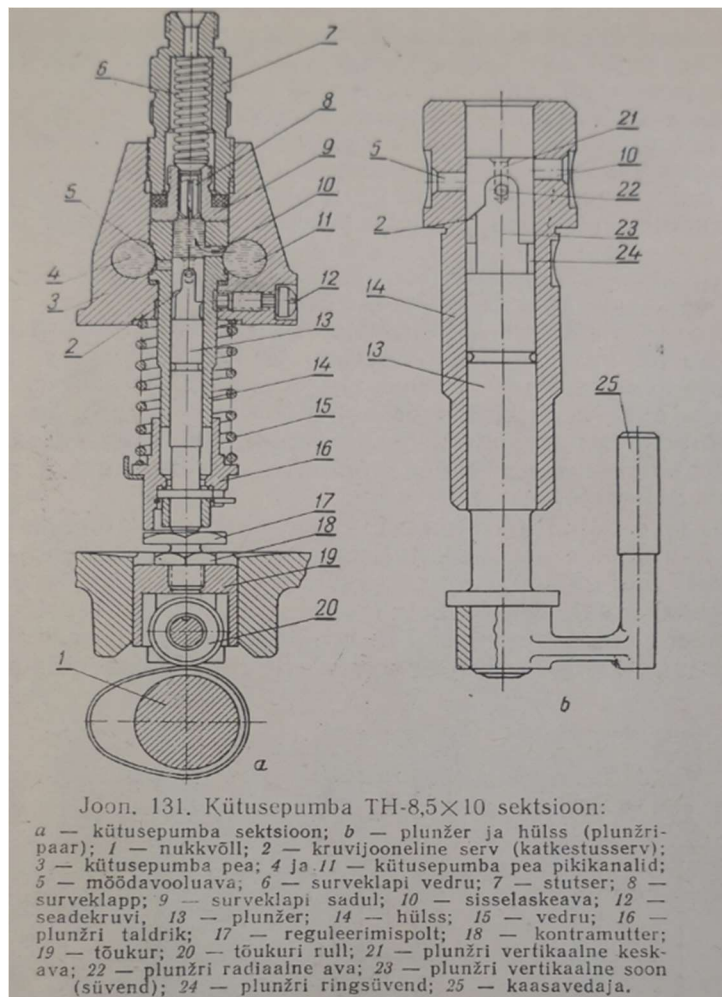
**Joonis 1.6** Kõrgsurvepumba regulaatorkarakteristik [5, lk 24].

Seda karakteristikut kasutatakse kõige sagedamini ka pumba töö hindamiseks. Regulaatorkarakteristiku arvuliste väärtustega määratakse ära mootori kõikide väljundparameetrite efektiivsus. Antud karakteristiku tegelikke väärtusi hoiavad kõrgsurvepumpade toojad kõige rohkem saladuses kuna see teeks konkurentidele lihtsamaks uue pumba tootmise .

### 1.3.1 Reaspumba tööpõhimõte

Kütuse sisseimemine ja pihustisse surumine toimub plunžri 13 (joonis 1.7) edasi-tagasi liikumisel kõrgsurvepumba hülsis. Hammasrataste kaudu käitab mootori vāntvōll nukkvōlli 1. Tōukuri rulli 20 nukkvōlli nuki alt läbi liikudes tōstab nukk tōukuri 19 ülesse, koos millega tōuseb ka pumba plunžer 13 ülesse, mida vedru 15 surub reguleerimispolldi vastu. Kui nukk pōōrdub tōukuri alt ära, surub vedru plunžri ning tōukuri alla esialgsesse asendisse. Plunžri allaliikumisel toimub kütuse imemine, ülesliikumisel toimub kütuse surumine pihustisse läbi kütusetoru. Kõrgsurvepumba hülsis 14 on kaks ava (sisselaske ava 10 ja ülevooluava 5), mis asuvad üksteisest erineval kõrgusel – sisselaskeava on veidi kõrgemal ülevooluavast. Pumba hülsid on pandud ühisesse peasse 3, mille pikikanalid 11 ja 4 on täidetud kütusefiltrist tuleva puhastatud kütusega. Iga hülsi ülevooluava on ühendatud kanaliga 4 ja sisselaskeava on ühendatud kanaliga 11. Hülsi ülemine väljavooluava on

suletud klappiga 8, mis on paigutatud pumba pesasse 9. Klapipesa surutakse vastu hülssi pumba pesasse keeratud stutsiga 7, surveklapp aga pesasse stutsi paigaldatud vedruga 6.

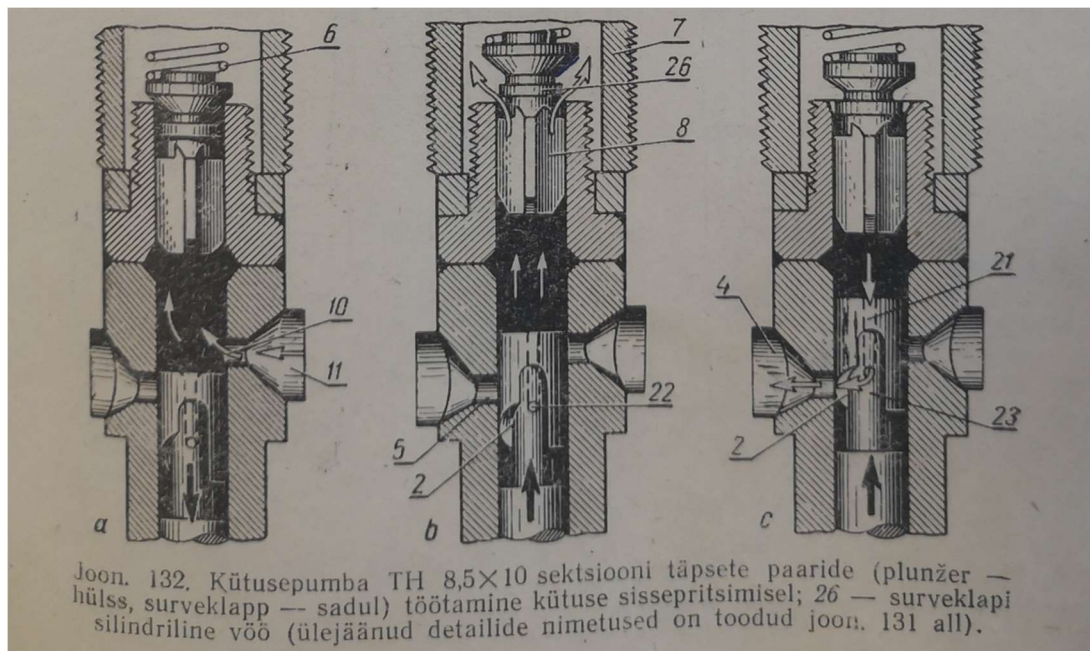


**Joonis 1.7** Reaspumba sektsioon [3].

Plunžri allaliikumisel hakkab kütus sisselaskeava avanemise momendil pikikanali 11 (joonis 1.8a) kaudu sisse voolama ja täidab hülssis oleva ruumi, mis asub plunžri peal. Plunžri ülesliikumisel surutakse kütust sisselaskeava kaudu tagasi kanalis 11. Kui plunžri ülemine serv suleb sisselaskeava, hakkab kütuse rõhk plunžri peal olevas ruumis kasvama. Rõhu mõjul avaneb klapp 8 (joonis 1.8b) ja kütus surutakse mööda kütusetoru kütusepihustisse. Plunžri edasisel liikumisel avab plunžri kruvijoonealiselt lõigatud serv ehk katkestusserv 2 (joonis 1.8c) ülevooluava 5. Plunžri kohal asuvas ruumis valitseva suure rõhu tõttu hakkab kütus plunžri tsentraalse vertikaalava 21, radiaalava 22, ja veritkaalsoone 23 kaudu liikuma ülevooluava 5 kaudu pumba sees asuvasse kanalis 4. Rõhu langemise tõttu plunžri peal surub vedru 6 surveklapi vastu pesa 9 ning klapp lahutab plunžripealse ruumi



kõrgrõhu kütusetorust kütuse ülevoolu ja imemise perioodil.



**Joonis 1.8** Reaspumba sektsiooni töö. [3]

Surveklapi sulgumisel siseneb pessa kõigepealt klapi lahtikoormamisvöö 26. See töötab nagu kolb, mille tagasiliikumisel vabaneb kütusetorus vöö mahuga võrduv ruumala, mille tagajärjel aga langeb kütusetorus rõhk järsult ning kütuse pihustamine silindrisse katkeb hetkeliselt. Momendil kui plunžri katkestusserv avab mööddavooluava, lõpeb pumba töökaik. Edasine plunžri ülesliikumine toimub tühjalt sest kütus voolab mööddavooluava kaudu pumba peas asuvasse kanalisse 4. Kui võlli 1 nukkk välhjub rulli alt, surub kokkusurutud vedru 15 plunžri alla, seejuures avades sisselaskeava 10. Seejärel toimub kogu see protsess uuesti. Neljataktilises diiselmootorites peab nukkvõlli pöörete arv olema kaks korda väiksem väntvõlli pöörete arvust, kuna pihustustakti ja välja laske takti vahel on hõrendus ja tihendus taktid ka.

## 1.4. Olemasolevate kütusekulu mõõteseadmete võrdlus

Hetkel turul olevad seadmed on mõeldud sõidukitele millel on tehasesest paigaldatud OBDII pistik ehk sõidukitele mis on toodetud alates 1996 aastast. OBD ehk *on-board diagnostics* (i.k) on autonduses kasutatav termin, mis viitab sõiduki enese-diagnostika ja vigade raporteerimise võimele. OBDII on teise generatsiooni diagnostika pesa, mida paigaldavad autotootjad alates 1996 aasta algusest. See on edasiarendus mis võimaldab lugeda mootori tööparameetreid ja veakoode täpsemini. Pistiku ehitus ja ühendusskeem on standartne ehk kõikides sõidukites samasugune. Samuti tähendas selle kasutusele võtt, et sõidukite juhtmooduleid arendatakse edasi mis suudaks neid parameetreid ühtselt tõlgendada. Edasiarendustega toodi ka sõidukitesse pardakompuutrid, läbi mille sai jälgida keskmist kütusekulu täpselt. Kuna algusaastatel oli pardakompuuter võrdlemisi kallis lisavarustus, siis kõik inimesed seda lisa ei tellinud. See avas ukse järelturu tootjatele, kes hakkasid looma seadmeid, mis paigaldatakse OBDII pistikusse, ning displei kuhugi juhi suhtes mugavasse asukohta. Järgnevas osas võrdlen erinevaid seadmeid, mis on antud hetkel turul.

### Kiwi 4

Kiwi 4 on huvitav seade, kuna sellele on sisse ehitatud õpetus, kuidas muuta enda sõidustiil kõige ökonoomsemaks. Displeile kuvatakse reaajas mõõdetavad kütusekulu näidud. Kuna seadmel on kiirendusandur, suudab see jälgida selliseid faktoreid nagu kui sujuv on juhi kiirendus, kui palju pidureid kasutatakse (kuna energiat raisatakse tühja, kui kiirendatakse liiga järsult ning seejärel pidurdatakse kõik maha) ja kas juht kiirendab liiga aeglaselt (võib raisata kasutult kütust, kui venitatakse pikalt madalate, vähem efektiivsete käikudega).



**Joonis 1.9** Kiwi 4 moodul [6].

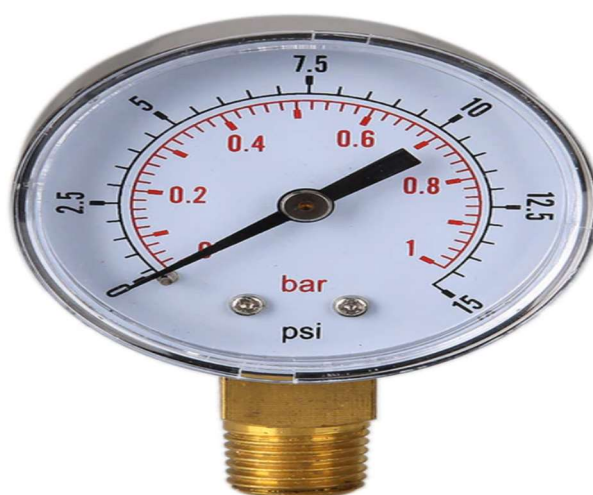
Seade saab toite OBDII pesast. Tal on oma *Bluetooth* moodul ning andmete lugemiseks luuakse ühendus seadme ja telefoni vahel. Telefonile on loodud kasutaja sõbralik rakendus kust saab lugeda erinevaid andmeid. Seade on varustatud kiirendusanduriga ning kuvab Seade on mälukaardi pesaga ning salvestab sellele andmeid koguaeg, kui on ühendatud sõidukiga. Salvestatud andmeid saab laadida näiteks arvutisse, kus saab neid vajadusel võrrelda ning analüüsida.



**Joonis 1.10** Kiwi 4 nutitelefonis kasutajaliides [7].

## Vaakuminäidik

Vaakummeetri kasutamine on vananenud meetod. Mootori sisselaskekollektor on mootori käitamise ajal peaaegu koguaeg negatiivse surve all. Vaakum on kõrgem, (madalam absoluutne rõhk) siis kui mootor töötab kõrgetel pööretel ning gaasiklapp on osaliselt avatud nagu näiteks maantee sõit. Vaakum on madalam siis, kui mootor töötab tühikäigu pööretel ning gaasiklapp on peaaegu suletud. Vaakum praktiliselt puudub kui mootor töötab täisvõimsusel – gaasiklapp on täiesti avatud ning sisselaskekollektorist käib läbi suurim õhumass.



**Joonis 1.11** Vaakummeeter [8].

Vaakummeeter on lihtne mehaaniline näidik, mis ühendatakse sisselaske kollektorikülge torude või voolikutega. Vanemad BMW sõidukid kasutavad analoogset tehnoloogiat. Näidikuteplokki on integreeritud vaakummeeter, mis on kavalalt kalibreeritud kuvades tulemust mitte vaakumit millibarrides vaid kasutatavat kütusekogust, mis kulub 100 km läbimiseks.



**Joonis 1.12** BMW näidikuteplakk [9].

## ScanGauge E

ScanGaugeE pakub reaajas informatsiooni sõiduki kütusekulu kohta läbi intuitiivse displei. Sellega saab jälgida kui palju on kütusele raha kulunud ning palju kütust on kasutatud. Seadet saab optimeerida kuvama kui palju kütust kulub 100 kilomeetri kohta, mitu liitrit tunnis kulub ning palju on retkel kütust kulunud.



**Joonis 1.13** ScanGauge E [10].

Seadmele pole vaja eraldi toiteallikat patareide või akude näol, kuna toite saab see seade OBDII pistikust.

## AVL PLUtron

AVL PLUtron on universaalne mõõtmisseade, mis on pühendatud kasutamiseks just autonduses. See seade suudab mõõta kütusevoogu kuni 300l/h ning kütuserõhku kuni 2MPa. PLUtron on tipptasemel seade, millel on lai mõõteraadius, tagades väga täpse mõõtetulemuse isegi madala kütuse voo puhul. Seade on lihtsasti kasutatav – tuleb külge ühendada ainult kütuse pealevoolu toru ning seadmest pihusti latti edasi viia. Seade kuulub IP67 klassi, muutes selle robustseks ning tagades sellele kaitse vibratsiooni ja löögijõu eest ning töökindluse karmides tingimustes. Seadmega saab katsetada laia valikut vedelikke – erinevad kütused, määrdeained ja test-vedelikud. Koos integreeritud tihedusemõõturiga suudab seade kuvada koheselt läbinud kütuse koguse.



**Joonis 1.14** AVL PLUtron [11].

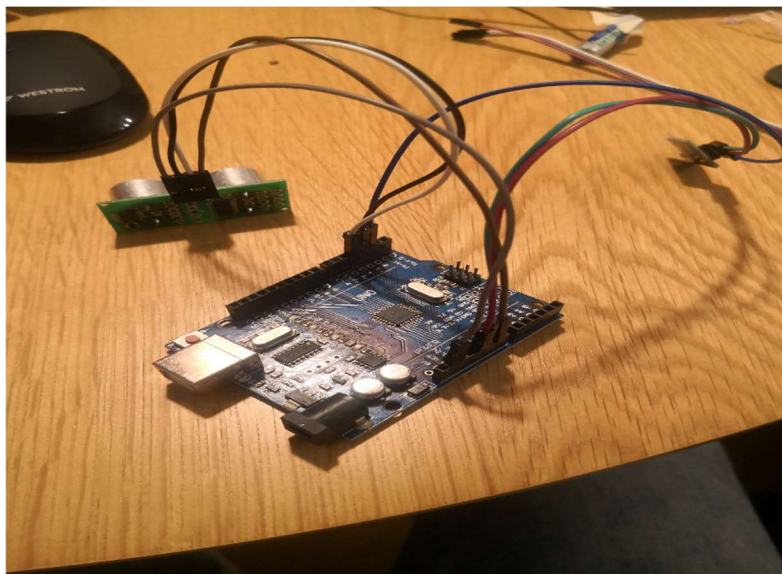
Kuna enamus turul olevatest seadmetest on mõeldud OBD II pistikuga sõidukitele, siis on vanadele sõidukitele sellist seadet raske hankida. On olemas küll seadmed nagu AVL PLUtron, mida saab kasutada ka vanematel sõidukitel, kuid nende kalli maksumuse tõttu pole neid otstarbekas tavakasutajal soetada. Samuti seisavad sama probleemi ees ettevõtjad, kes omavand vananenud masinaparki. Kuna vanema veotehnika omanikel pole sageli majanduslike võimalusi selliste seadmete soetamiseks, ei olegi võimalik reaalajas kütusekulu jälgida. See on väga tähtis ettevõttele kulude vähendamise suhtes kuid ka keskkonna säästmise aspektist. Inimene võib arvata, et kui mootor töötab madalatel pööretel siis on sõiduk kõige ökonoomsem. Alati see pole nii, kuna kui mootor töötab liiga madalatel pööretel Projekteeritav seade koostatakse autokoolile. Kuna ökonoomne sõidustiil ei tule hetkega, vaid sellega peab vaeva nägema, siis tuleks sõidukijuhte koolitada algusest peale

võimalikult ökonoomselt sõitma. Kui õpilasele on kohe näidata, palju muutub optimaalse sõidustiili valikuga, saab ta aru, kui palju see kokku säästab ainuüksi ühes kuus. Antud seade on vajalik, et see oleks kõigile kättesaadav ja vabalt edasi arendatav puhtama õhu nimel. Seadme tööpõhimõtte selgitamiseks seletati eelnevates peatükkides diiselmootori tööpõhimõtet ning kuidas kõrgsurvepump töötab ning kuidas muutub pihustitesse etteantav kütuse kogus. Kõrgsurvepumba töö määravad erinevad karakteristikud, neist põhilisemad on etteandekarakteristik, kiirusekarakteristik ning regulaatorkarakteristik. Seadme kalibreerimise aluseks saab kõrgsurvepumba etteandekarakteristik, kus hakatakse mõõtma hammaslati asendi muutumist ning kõrgsurvepumba pöörlemissagedust.



## 2. SEADME KOOSTAMINE

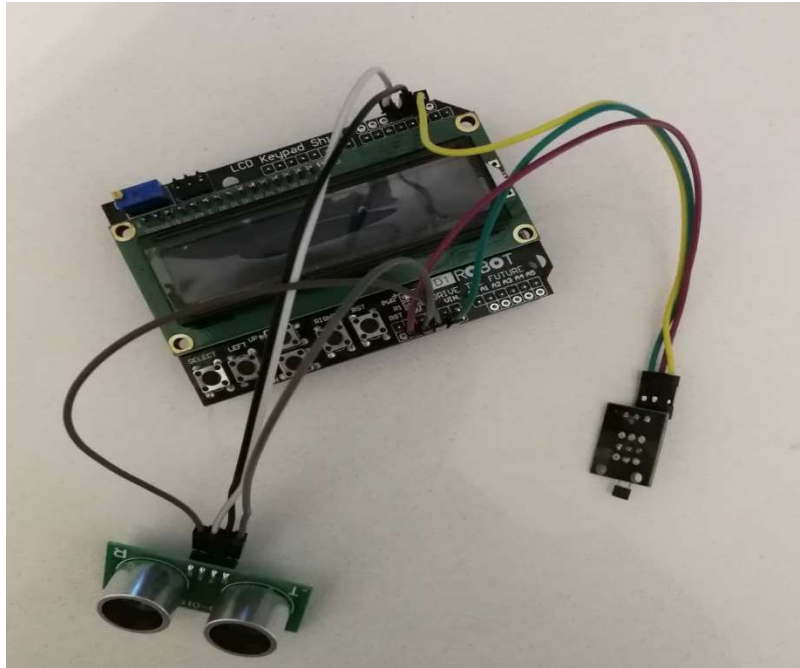
Seadme koostamisel mängib väga suurt rolli seadme maksumus. Töö eesmärgiks on välja töötada mõistliku kuluga seade. Keeruline osa on leida mõistliku hinnaga andurid, mis tagavad piisava mõõtetäpsuse, mis annaks usaldusväärse ning piisavalt täpse mõõtetulemuse. Algne seadme version koosneb Arduino Uno R3 koopia juhtkiibist ( 3,24 €)[12], hammaslati asendit mõõtev ultraheliandur US-015 (0,90 €) [13] ning kõrgsurvepumba pöörlemissagedust mõõtev Halli andur KY-003 (2.50 € ) [14].



**Joonis 2.1** Seadme esimene variant.

Seadme esimese variandiga tekkisid probleemid andmete töötlemisega ning tehti otsus seadet edasi arendada. Seadmele lisandus LCD displei nuppudega (8,66 €) [16]. LCD kuvab käsklusi, mis antud ajahetkel on antud (ootel, arvutan, ning kuvab eelmise katse tulemust). Seade õpetatakse arvutama kasutatud kütuse kogust, mida kuvatakse ekraanil peale katset.

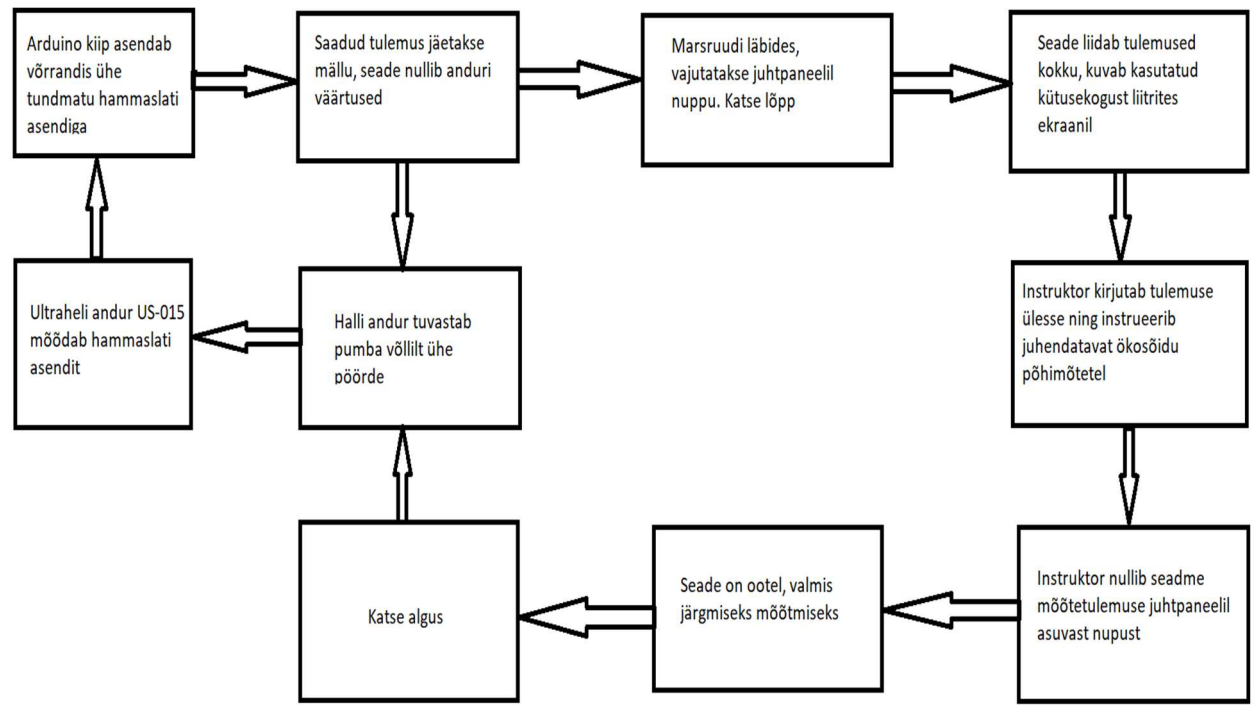




**Joonis 2.2** Seadme teine versioon LCD ekraaniga.

## 2.1 Projekteeritava seadme tööpõhimõte

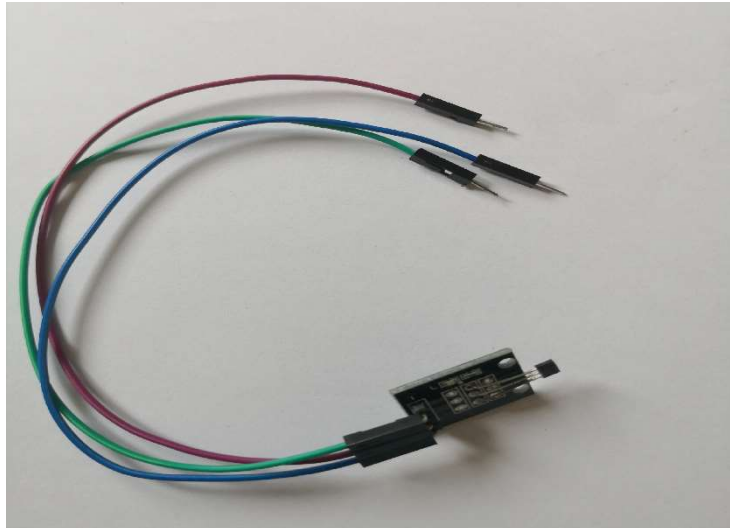
Antud seadme projekteerimisel võeti aluseks kõrgsurvepumba test-plaan. Kuna kõrgsurvepump eemaldati sõidukilt remonditöödeks, asetati see ka katsestendi, et saada teada selle töökarakteristikud (maksimaalsed pöörded, maksimaalne hammaslati käik ning maksimaalne tootlikus) (LISA A). Seade õpetati tuvastama pumba pöörlemist ning hammaslati käiku (joonis 1.3). Peale igat pumba pööret mõõdetakse hammaslati asendit. Igale hammaslati asendile on defineeritud oma kütuse kogus, mis pihustitesse pumbatakse. Seejärel korrutatakse pöörete arv kütusekogusega, mis pihustitesse pumbati, pihustite arvuga. Sellega saan teada palju ühe töösükliliga kütust kasutati. Seejärel seade liidab juurde iga järgneva tulemuse ning selmoel saan teada, kui palju kütust terve katse vältel kasutatakse. Seadmega ei ole võimalik mõõta kütuse tagasivoolu kogust, aga õppe-eesmärgil loodud seadmel pole otsest vahet, kuna see kogus mis tagasivoolust tuleb on võrdlemisi väike ning soov on näidata juhendatavale, kes teostab ökosõitu, kui palju saab kütusekulu vähendada optimaalse sõidumaneeriga.



**Joonis 2.3** Seadme loogikaskeem.

## 2.3 Halli anduri programmeerimine

Halli anduriks on KY003 andur. See andur osutus valituks kuna sellel on integreeritud LED indikaator lamp, 680Ω takisti ning selles on magnet ja Halli plaat kokku ehitatud. Kui sellisele andurile läheneb ferromagnetiline osa, kutsub see esile väljund signaali muutuva magnetvälja tõttu. See teeb lihtsaks ühe pumba täispöörde tuvastamise – kui pumba völliile panna magnet fikseeritud kohta, siis on anduril kindel punkt, kust tuvastada magnetvälja muutust. [15]

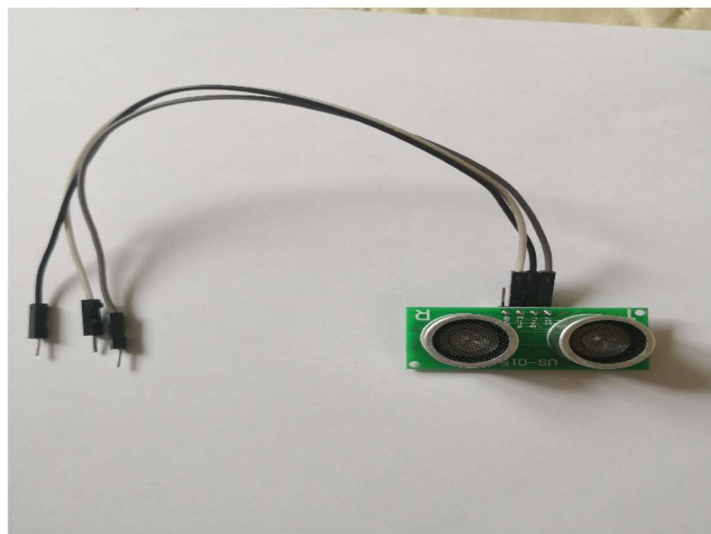


**Joonis 2.4** Halli andur KY003.

KY003 õpetamine Arduinole kujunes nii, et andur tuvastab magnetvälja muutuse ning kutsub esile väljundsignaali, mis edastatakse juhtplaadile. Sealt antakse signaal edasi ultraheli andurile. Halli anduri tööprogramm on lisatud lisadesse ( Lisa D)

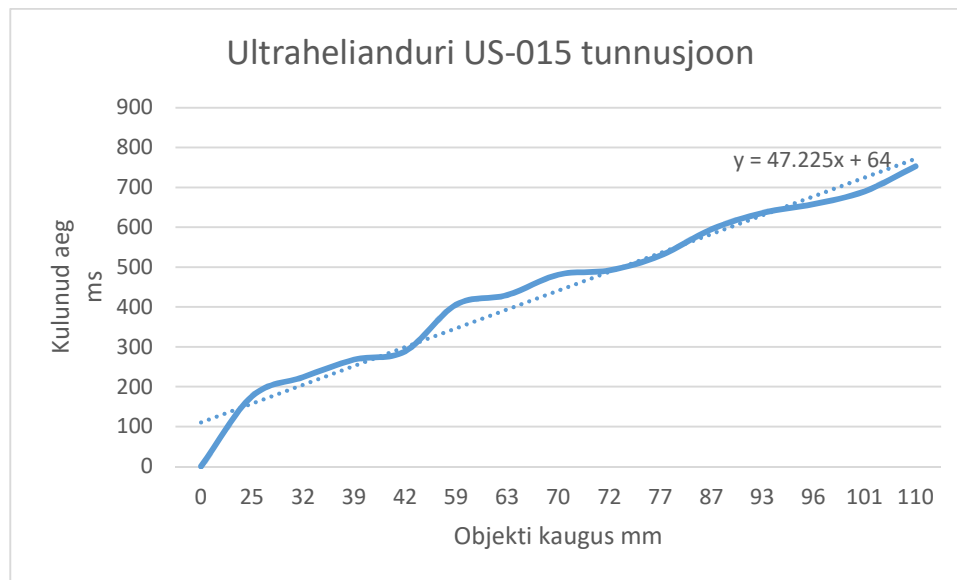
## **2.4 Ultrahelianduri (US-015) programmeerimine**

Ultrahelianduriks valisin US-015. See andur osutus valituks, kuna hind oli soodne ja anduril on piisav mõõtetäpsus. Anduri tehnilised andmed on väljatoodud tehnilises passis (Lisa B). Anduri tööpõhimõte seisneb selles, et anduril on kaks osa, millest üks saadab välja ultraheli signaali ning teine võtab selle signaali vastu, mis on tagasi peegeldunud mõõdetavalt pinnalt.



**Joonis 2.5** Ultraheliandur US-015.

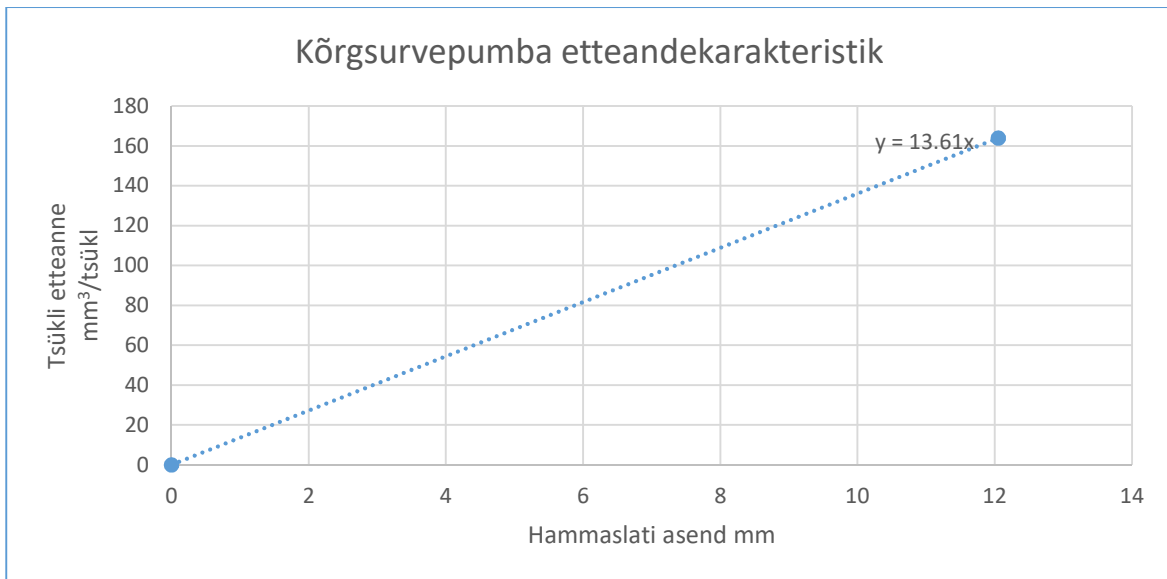
Aeg, mis kulub pinnani ning tagasijõudmiseks tõlgendatakse signaaliks. Antud töös pannakse andur mõõtma plaadi kaugust, mis on kinnitatud hammaslati külge. Aeg mis kulub ultraheli signaalil plaadini ning tagasi jõudmiseks teisendatakse millimeetriteks kasutades ultraheli levimise kiirust õhus, mis on 344 m/s. Sellega saab teada hammaslati asendi ning kui avatud plunžri katkestussoon on. Ultrahelianduri tööprogramm on lisatud lisadesse (Lisa C)



**Joonis 2.6** Ultrahelianduri tunnusjoon.

## 2.5 Andurid koos töötamas

Andurite töö sõltub teineteisest. Seade õpetati arvutama tsüklietteannet etteandekarakteristiku alusel (joonis 2.6) Kui Halli andur tuvastab pumbal ühe pöörde, ehk kui pump on teinud ühe töötsükli siis see edastab signaali juhtplaadile, mis omakorda annab signaali ultraheliandurile, et mõõta hammaslati asendit. Kuna kütuse koguse maht, mis plunžri kaudu pihustisse pumbatakse, muutub lineaarselt saab Arduino arvutama panna kütuse kogust võrrandi kaudu. Pumba maksimaalne tootlikus on teada pumba test-plaani kaudu (Lisa A). Kui asendada võrrandisse ühe tundmatu asemel pumba maksimaalne kütuse kogus ühe tsükli kohta ehk  $164 \text{ mm}^3$  ja teise tundmatu asemel pumba maksimaalne käik ehk 12,05 mm siis saame tehte, mille alusel hakkab Arduino arvutama. Antud teisendus näitab, kui palju kütust lastakse plunžrisse vastavalt hammaslati asendile.



**Joonis 2.7** Katses kasutatava Boschi kõrgsurvepumba etteandekarakteristik.

$$V_k = 13,61 \text{ mm}^3 \times l_z$$

kus  $V_k$  on kasutatud kütus ühe plunžri töötsükli kohta;

$13,61 \text{ mm}^3$  - on kütuse kogus, mis vastab hammaslati asendile;

$z$  - on hammaslati asend millimeetrites. (2.1)

Kuna antud katses kasutataval pumbal on kuus plunžrit, tuleb korrutada tulemus kuuega.

$$V_l = 6 \times 13,61 \text{ mm}^3 \times z$$

kus  $V_l$  on kasutatud kütuse kogus pumba ühe töötsükli kohta;

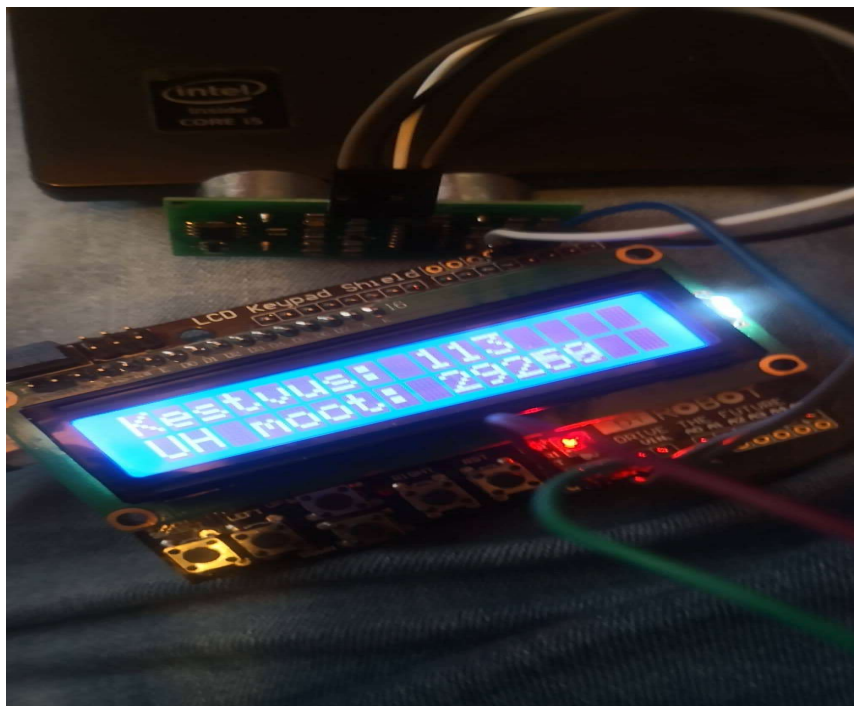
6 - on plunžrite arv

$13,61 \text{ mm}^3$  - on kütuse kogus, mis vastab hammaslati asendile;

$z$  - on hammaslati asend millimeetrites. (2.2)

## 2.6 Käskluste programmeerimine LCD-displeile

Soov kuvada käsklusi displeil, tuli sellest et lihtsamini aru saada, mis tööfaasis seade antud ajahetkel on. Seadet saab juhtida nuppudelt, mis asuvad displei alumises ääres. Kui seade on ühendatud toitega ning mõõtmist ei toimu, kuvatakse displeil “Ootel”, ning seade on valmis mõõtma. Peale instruktori poolset mõõtmise alustamist hakkab displei kuvama sõnumit “Mõõdan”. Kui instruktor lõpetab juhtpaneelilt katse, siis kuvatakse sõnumit “Katse tulemus oli X liitrit”, kus X on kütuse kogus mida kasutati marsruudi läbimisel. Mõõtetulemuse jäädvustamisel vajutab instruktor *Reset* nuppu, mis nullib seadme eelmise katse tulemuse.



**Joonis 2.8** Ekraani katsetamine.

## 2.7 Katse läbiviimine

Seadme katsetus toimub algselt mootori läheduses, kuna on soov teada, kuhu seade paigutada. Tekivad probleemid – kui jätta seade mootori lähedusse, on oht, et seade saab kahjustada erinevate tegurite poolt. Mootoriruumis esineb tugev vibratsioon, seal lendleb palju tolmu, mis võib häirida andurite tööd ning vähendada nende töökindlust. Veel võib esineda seal erinevaid lekkeid (kütus, õlid, jahutusvedelik). On teadatuntud fakt, et pikema kaabli kasutusega esineb voolukadu. Seadme katsetusega üritame kindlaks määrata asukoha, kuhu paigutada andurid ning kus kohta võiks paigutada seadme. Kui paigutada seade juhi juurde, võib tekkida probleem mõõte täpsusega. Viin läbi kaks katset, mille käigus määran anduritelt tuleva impulsi suuruse lühikeste kaablitega, ning selliste kaablitega mis ulatuksid sõidukis juhini. Katse toimub kahes osas – madalamatel ja kõrgematel pööretel. Kui implused erinevad siis võtan kasutusele konstandi mis aitaks parandada mõõtetulemust.



**Joonis 2.9** Seadme katsetamine kõrgsurve pumbal. 1) Hammaslati ots 2) hammaslati otsa



keeratud polt koos seibidega, 3) ultraheliandur US-015, 4) Halli andur KY-003, 5) kõrgsurvepumba ajami võlli ots, 6) võlli otsale kinnitatud magnet.

Joonisel 2.9 on näidatud kuidas seadme katsetus toimub. Hammaslati otsa on keeratud polt, mille külge on kinnitatud 2 seibi, et ultrahelianduril oleks suurem pind kust mõõta hammaslati asendi muutumist ning sellega kaasnevat pumbatava kütuse koguse. Kõrgsurvepumba võlli otsale pandi magnet, et Halli anduril oleks fikseeritud punkt ühe pöörde tuvastamiseks. Katsetuse käigus selgus, et seadme prototüüp on valmis saanud. Seade suudab tuvastada hammaslati liikumise sajandiku täpsusega ning suudab mõõta vähemalt 20 korda sekundis samal ajal kui Halli andur suudab tuvastada pöörlemissagedust vähemalt 1280 pööret minutis. Need näitajad on enam kui piisavad, sest kõrgsurvepump, mille peal seadet kasutama hakatakse, suudab arendada maksimaalselt 700 pööret minutis (Lisa A), mis on umbes 11,7 korda sekundis. See tähendab, et kütuse koguse määramisel ei jää asi andurite mõõtmisvõime taha ning mõõtetulemus on täpne.

```
23:20:25.316 -> 42mm
23:20:25.485 -> RPM = 714
23:20:25.485 -> passedTime: 11313
23:20:25.485 -> 42mm
23:20:25.654 -> RPM = 714
23:20:25.654 -> passedTime: 11486
23:20:25.654 -> 42mm
23:20:25.823 -> RPM = 714
23:20:25.823 -> passedTime: 11659
23:20:25.823 -> 42mm
23:20:26.026 -> RPM = 714
23:20:26.026 -> passedTime: 11832
.. .. .. .. ..
```

**Joonis 2.10** Seadme prototüübi katsetamine

Katsetati ka erineva pikkusega juhtmeid. Algselt eeldatavat pingelangu ei esinend ning seadme võiks autokoolis instruktori juurde paigutada mugavamaks kasutamiseks. Pingelangu esinemine oleks hakkand manipuleerima mõõtetulemust ning kalibreeritud seadme tööd. Kuna ultraheli andur töötab vahemikus 3 V – 5 V siis pingelangu puhul oleks võinud tekkida olukord, kus andur ei saa piisavalt voolu ning ei lülitu sisse ja selle tõttu ei teosta ka mõõtmist. See omakorda vähendaks kuvatavat kasutatud kütuse kogust ning juhendatavale võib jääda mulje, et ta sõidustiil on juba piisavalt ökonoomne ning ta ei pea sellega rohkem vaeva nägema.



### 3. ARVUTUSED

Kuna seade põhimõtteliselt töötaks ka ilma ekraanita, siis arvutan kokku, kui palju oleks kõige primitiivsema seadme maksumus, et töö saaks tehtud.

$$H_1 = x + y + z = 3,24\text{€} + 0,90\text{€} + 2,50\text{€} = 6,64\text{€}$$

Kus	$H_1$	on	seadme	algne	hind;
x –	Arduino juhtkiibi hind;				
y-	ultrahelianduri US015 hind;				
z-	Halli anduri KY003 hind.				

Kuna seadet arendati veidikene edasi, et lihtsam oleks seadet käsitleda siis lisandus seadmele LCD ekraan, kust saab lugeda katsetulemust.

$$H_2 = x + y + z + k = 3,24 + \text{€ } 0,90\text{€} + 2,50\text{€} + 8,66\text{€} = 15,30\text{€}$$

Kus	$H_2$	on	seadme	hind;
x –	Arduino juhtkiibi hind;			
y -	ultrahelianduri US015 hind;			
z -	Halli anduri KY003 hind;			
k-	LCD Displei hind.			

Seadme täpsemaks kalibreerimiseks tuleks lisada kütuse vooandur tagasivoolu torustikku, mille maksumus on ligikaudu 9 € [17]. Selle anduriga näeb, kui palju etteantud kütust jääb kasutamata ning mis suunatakse tagasi ringlusesse. Seadme tööprogrammis tuleks seda andurit läbiv kütusekogus maha lahutada kogu katses kasutatud kütusekogusest.

$$H_3 = x + y + z + k + m = 3,24 + \text{€ } 0,90\text{€} + 2,50\text{€} + 8,66\text{€} + 9\text{€} = 24,30\text{€}$$

Kus	$H_3$	on	seadme	hind;
x –	Arduino juhtkiibi hind;			
y -	ultrahelianduri US015 hind;			

z -	Halli anduri KY003 hind;		
k -	LCD	Displei	hind;
m -	kütusevoo anduri hind.		

## KOKKUVÕTE

Kuigi ranged heitgaaside normid panevad sõidukite tootjaid aina rohkem ressursi elektriautode arendamisele suunama ning mitmed riigid on otsustanud keelata alates 2030 aastast sisepõlemismootoriga varustatud sõidukite müügi jäävad sellest hoolimata sisepõlemismootoriga sõidukid liiklusesse pikemaks ajaks kui kümme aastat. Seetõttu on oluline õpetada ka õigeid sõiduvõtteid, et tagada võimalikult väike kütuse kasutamine.

Töö käigus anti ülevaade diiselmootorist ning selle tööpõhimõttest. Samuti kirjeldati toitesüsteemi töökarakteristikuid ning anti täpsem ülevaade reastüüpi kõrgsurvepumba tööpõhimõttest ja konstruktsioonist, kuna enamik vanemaid autosid on just varustatud seda tüüpi kõrgsurvepumbaga. Reastüüpi kõrgsurvepump on küll väga töökindel, kuid vananenud tehnoloogia ja vähese edasiarendamise potentsiaaliga seade ei leia enam tänapäeval kasutust. Uuemad pumbad on varustatud anduritega, mis juba võimaldavad jälgida kütusekulu. Isegi kui tehasest pole sellist väljundit, mis võimaldaks seda jälgida, on järelturul mitmeid erinevaid seadmeid, mida saab paigaldada OBD II pistikuga sõidukitele.

Töö käigus projekteeriti autori äranägemise järgi jaekaubandusest leidavate anduritega oma seade ning andurid pandi paralleelselt tööle, et jälgida pumba pöörlemis sagedust, millega saab teada mitu töötsüklit pump teeb ning hammaslati asendi muutumist, millega saab teada kui palju kütust pumbatakse pihustitesse. Nende tulemuste korrutamisega saab kätte kütusekoguse, mida mootor kulutab.

Kuigi kõige primitiivsema seadme saaks tööle 6,64€ eest, ei taga see kõige täpsemat mõõtetulemust. Aga kuna õppe-eesmärgil pole väga täpset seadet vaja, vaid mingit suurusjärku mida saaks õpilasele kuvada, et vastavalt vajadusele oma sõidumaneeri korrigeeriks. Sellega oleks kõige odavam seade valmis. Kuid kui on soov kuvada täpsemat mõõtetulemust, tuleks lisada kütusevoo andur kütusetagasisivoolu torustiku ning lihtsamaks andmete töötlemiseks LCD displei. Sellisel juhul tuleks seadme maksumuseks 24,30€, mis on küll mitu korda kallim algsest variandist, kuid siiski tunduvalt odavam turul pakutavatest lahendustest

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Prof. Dr.-Ing. Konrad Reif** (2014) Diesel Engine Management - Systems and Components. *Bosch Professional Automotive Information*. Saksamaa: Springer Fachmedien Wiesbaden. 381 lk
2. Early History of the Diesel Engine. Kättesaadav: [https://www.dieselnets.com/tech/diesel\\_history.php](https://www.dieselnets.com/tech/diesel_history.php) (16.05.19)
3. **A. Gurevits, J. Sorokin** (1963) Traktorid ja autod. Tallinn: Eesti Riiklik Kirjastus. 568 lk
4. Mechanical Technology: Four Stroke Cycle Diesel Engine. Kättesaadav: <http://4mechtech.blogspot.com/2013/12/four-stroke-cycle-diesel-engine.html> (16.05.19)
5. Mootorite ja toiteaparatuuri katsetamine, metoodiline juhend Eesti maaülikooli õpilastele (2018). Õppeotstarbeline juhend
6. Kiwi 4 OBD2 OBDII Wireless Bluetooth Diagnostic Scanner | Apple and Android. Kättesaadav: <https://www.plxdevices.com/ProductDetails.asp?ProductCode=897346002092> (16.05.19)
7. Kiwi App OBD2 OBDII Diagnostic Software | Apple and Android. Kättesaadav: <https://www.plxdevices.com/Kiwi-App-OBd-Car-to-Smartphone-Software-p/kiwi-app.htm> (16.05.19)
8. Pilt manomeetrist. Kättesaadav: [https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1UD9qPpXXXXbUXXXXq6xXFXXXJ/0-15-PSI-0-1-Bar-Wasser-Manometer-Manometer-Gas-Kompressor-Hydraulische-Vakuum-Doppel-Skala-Luftdruck.jpg\\_640x640.jpg](https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1UD9qPpXXXXbUXXXXq6xXFXXXJ/0-15-PSI-0-1-Bar-Wasser-Manometer-Manometer-Gas-Kompressor-Hydraulische-Vakuum-Doppel-Skala-Luftdruck.jpg_640x640.jpg) (16.05.19)
9. EURO Instrument Cluster. Kättesaadav: <https://www.bmw-all-parts.com/c-bmw-1381855-euro-instrument-cluster-vdo-6160444322-m42-from-e30-318i-m42> (16.05.19)
10. ScanGauge E. Kättesaadav: <https://www.scangauge.com/products/scangauge-e/> (16.05.19)

11. AVL PLUtron™ - Consumption Measurement. Kättesaadav:  
[https://www.avl.com/web/guest/consumption-measurement1/-/asset\\_publisher/gYjUpY19vEA8/content/avl-plutron-?refererPlid=1959764&controlPanelCategory=current\\_site.content](https://www.avl.com/web/guest/consumption-measurement1/-/asset_publisher/gYjUpY19vEA8/content/avl-plutron-?refererPlid=1959764&controlPanelCategory=current_site.content) (16.05.19)
12. Buy Arduino UNO R3 Clone - With USB Cable - (USB Chip CH340) with cheap price. Kättesaadav: <https://www.robotistan.com/arduino-uno-r3-clone-with-usb-cable-usb-chip-ch340> (1.04.19)
13. US - 015 Ultrasonic Module | Gearbest. Kättesaadav:  
[https://www.gearbest.com/sensors/pp\\_226733.html?vip=4525923&gclid=CjwKCAjw5dnmBRACEiwAmMYGOcnBZNs4gjvdaI7X81qIRpx3HWrPwx1LmsYpfp3MaZoscA11vicDiBoCWI4QAvD\\_BwE](https://www.gearbest.com/sensors/pp_226733.html?vip=4525923&gclid=CjwKCAjw5dnmBRACEiwAmMYGOcnBZNs4gjvdaI7X81qIRpx3HWrPwx1LmsYpfp3MaZoscA11vicDiBoCWI4QAvD_BwE) (1.04.19)
14. Amazon.com: Hall Effect KY-003 Magnetic Sensor Module DC 5V for Arduino PIC AVR Smart Cars: Home Audio. Kättesaadav: <https://www.amazon.com/Effect-KY-003-Magnetic-Sensor-Arduino/dp/B01NBCKRC4> (1.04.19)
15. Hall Effect Sensor and How Magnets Make It Works Basic Electronics Tutorials. Kättesaadav: <https://www.electronics-tutorials.ws/electromagnetism/hall-effect.html> (16.04.19)
16. 1602 LCD Keypad Shield For Arduino – DFRobot. Kättesaadav:  
<https://www.dfrobot.com/product-51.html> (16.04.19)
17. Generic YF-S402 High Precision Flow Meter Water Flow Sensor. Kättesaadav:  
[https://www.amazon.com/Generic-YF-S402-Precision-Meter-Sensor/dp/B00VE47P18/ref=sr\\_1\\_6?crid=234TE3G1R9RAG&keywords=flow+sensor+arduino&qid=1559275524&s=gateway&srefix=flow+sensor+arduino%2Cinstant-video%2C255&sr=8-6](https://www.amazon.com/Generic-YF-S402-Precision-Meter-Sensor/dp/B00VE47P18/ref=sr_1_6?crid=234TE3G1R9RAG&keywords=flow+sensor+arduino&qid=1559275524&s=gateway&srefix=flow+sensor+arduino%2Cinstant-video%2C255&sr=8-6) (1.05.19)

**LISAD**

# Lisa A Boschi kõrgsurvepumba testplaan

## BOSCH INJ. PUMP TEST SPECIFICATIONS

Note inst. in remarks column

Test sheet : SCA 9,0 B  
Edition : 09.03.87  
Superceeded : 10.85  
Calibrating oil : ISO-4113  
Combination no. : 0 402 646 822  
Injection pump  
Pump designation : PE6P120A320RS7102  
EP type number : 0 412 626 804  
Governor  
Governor design. : RQ200/1000PA745  
Governor no. : 0 421 801 283

Customer-spec. information  
Customer : SCANIA

Engine : DS9 03

### TEST BENCH REQUIREMENTS

Calibrating-oil  
inlet temp. °C : 38...42  
Overflow valve : 1 417 413 025

Inlet press., bar : 1.50

Calibrating nozzle-holder  
assembly : 1 688 901 019

Opening  
pressure, bar : 207...210

Perforated-plate  
diameter mm : 0.8

Test inj. tubing : 1 680 750 015

Outside diameter  
x Wall thickness  
x Length mm : 6.00x1.50x600

(A) Injection pump setting values  
Insp. values in parentheses  
Set constant delivery quant.  
per values -----

START OF DELIVERY  
Test pressure, bar: 25...27

Prestroke mm : 5.00...5.10  
: (4.95...5.15)  
Contr.-rod trav.mm: 9.00...12.00

N19

Cam sequence : 1- 5- 3- 6- 2- 4

SD ang. spacing<sup>0</sup>CS: 0-60-120-180-240-300  
Tolerance + - : 0.50 (0.75)

SD mark cyl. no. : 1

### BASIC SETTING

1st speed 1/mi: 700

Contr.-rod trav.mm: 12.00...12.10

Del.quantity cm3/ : 16.3...16.5

100H.: (16.0...16.8)

Dispersion cm3/ : 0.6

100H.: (0.9)

2nd speed 1/min: 225

Contr.-rod trav. m: 5.00...5.20

Del.quantity cm3/ : 1.5...1.9

100H.: (1.2...2.2)

Dispersion cm3/ : 0.3

100H.: (0.6)

### SLEEVE POSITION

Control-lever position  
Degree: 45...47

Speed 1/min: 600  
Contr.-rod travelmm: 15.20...17.80

### FULL-LOAD DELIV. AT FULL-LOAD STOP

#### 1st version

Speed 1/min: 700

Charge press. hPa : 900

Del.quantity cm3/ : 163.0...165.0

1000H.: (160.0...168.0)

Dispersion cm3/ : 6.00

1000H.: (9.00)

### HIGHEST RATED SPEED

1st version  
Control-lever  
position degrees: 36...44

#### Setting point:

Speed 1/min : 600

Contr.-rod trav.mm: 16.5

#### Testing:

1st c-rod trav.mm : 11.00

Speed 1/min : 1045...1060

2nd c-rod trav.mm : 4.00

Speed 1/min : 1180...1210

4th speed 1/min : 1300  
C-rod trav.mm : 0.00...1.00

#### LOWEST RATED SPEED I

Control-lever  
position degrees: 6...14  
Setting point w/out aux. spring  
Speed 1/min : 225  
Contr.-rod trav.mm: 4.9

#### Testing:

Speed 1/min : 100  
C-rod trav.mm min : 6.30  
Speed 1/min : 225  
C-rod trav.mm : 4.90  
C-rod trav.mm : 2.00  
Speed 1/min : 310...350

compensator (LDA,ADA,ALDA)

#### 1st version

Setting  
Speed 1/min : 500  
Pressure hPa : 900  
Contr.-rod trav.mm: 12.00...12.10

#### Measurement

Speed 1/min : 500

1st pressure hPa : -  
C-rod trav.mm : 11.30...11.40  
2nd pressure hPa : 420  
C-rod trav.mm : 11.70...11.80  
3rd pressure hPa : 380  
C-rod trav.mm : 11.50...11.70

#### FUEL-DELIVERY CHARACTERISTICS

##### 1st version

Charge press. hPa : 900  
Speed 1/min : 1000  
Del.quantity cm3/ : 162.0...170.0  
1000H.: (160.0...172.0)  
Speed 1/min : 500  
Del.quantity cm3/ : 141.0...145.0  
1000H.: (139.0...147.0)

#### ROTATIONAL-SPEED LIMITATION

##### 1st version

1mm control-rod travel less than

full-load trav.mm: 11.00  
Speed 1/min : 1045...1060

#### STARTING FUEL DELIVERY

N20

Speed 1/min : 100  
Del.quantity cm3/ : 240.0...290.0  
1000H.: (-)  
Contr.-rod trav.mm: 20.00...21.00

#### LOW IDLE

Speed 1/min : 225  
Contr.-rod trav.mm: 4.80...5.00

#### Remarks:

Delivery-valve spring pre-tension  
3.2...3.4 mm.  
Permissible alteration of 3.0...3.5 mm  
Because of flattening, set the spring  
preload on new delivery-valve holders  
to 2.9...3.1 mm.

#### ADDITIONAL INFORMATION

Check and set without ROBO diaphragm

For comb. with letter index see  
VDT-I-400/116.

For sealing see VDT-I-400/117.

Test specifications approved by Scania  
on 1986-10-02  
Start of delivery - engine: 15° before  
TDC  
Firing sequence of engine:  
1-5-3-6-2-4.



## US-015 Ultrasonic Distance Measurement Module V2.0

### 1. Overview

US-015 is the highest resolution on the market, repeat the best measurement of the best distance measurement module; US-015 resolution higher than 1mm, up to 0.5mm, ranging accuracy; repeat the measurement of good consistency Stable and reliable. US-015 ultrasonic distance measurement module can achieve 2cm ~ 4m non-contact ranging function, the supply voltage of 5V, the working current of 2.2mA, support GPIO communication mode, stable and reliable.

### 2. Resolution and repeatability test screenshots

Figure 2.1 for the hand to take US-015 measurements, hand with a small jitter measurement screenshots, we can see less than 1mm jitter can be measured; display resolution of 0.01mm.

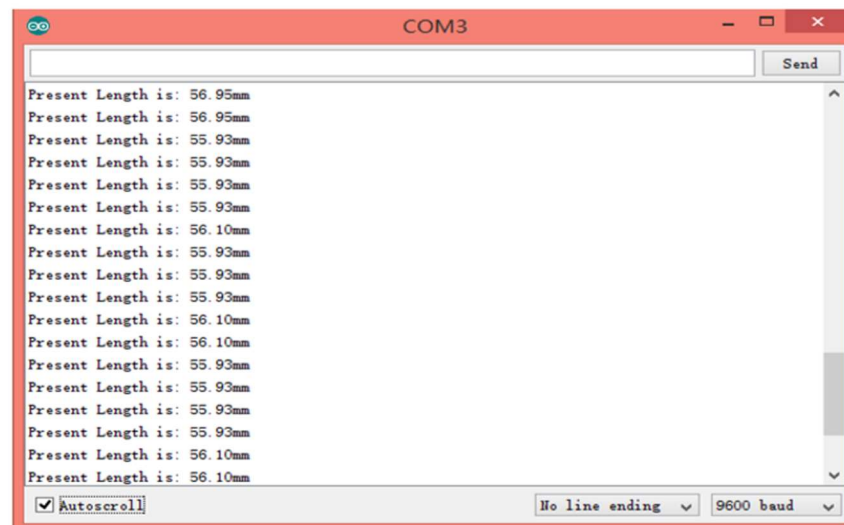


Figure 2.1: Handheld US-015 tiny jitter measurement screenshots

Figure 2.2 for the US-015 fixed, after a period of time after the screenshot, we can see repeat the measurement of good consistency. Display resolution of 0.01mm

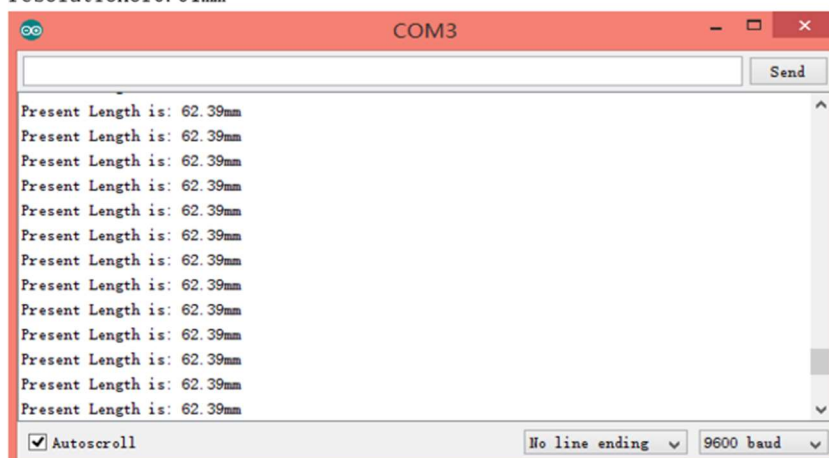


Figure 2.2: Repeated measurement screenshots

Refer to Appendix 2.1 and Figure 2.2 for the routines used.

## 主要技术参数

The main technical parameters

Electrical parameters US-015 Ultrasonic distance measuring module

Operating voltage DC 5V

Working current 2.2mA

Operating temperature 0 ~ +70 degrees

Output mode GPIO

Sensing angle is less than 15 degrees

Detection distance of 2cm-400cm

Detection accuracy 0.1cm + 1%

Resolution higher than 1mm (up to 0.5mm)

## 1. Size



图 4.1: US-015 正面图

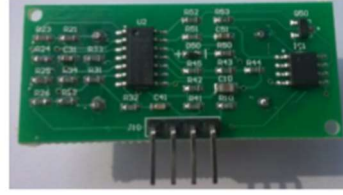


图 4.2: US-015 背面图

The size of the module: 45mm \* 20mm \* 1.2mm. There are two mechanical holes with a radius of 1mm on the plate, as shown in Figure 4.3

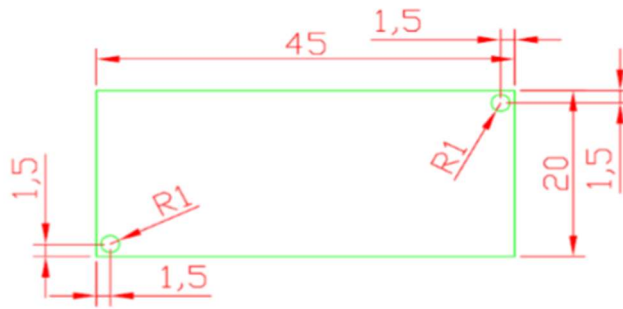


图 4.3

## 2. Interface description

The module has an interface: 4 Pin power supply and communication interface. 4 Pin interface is 2.54mm pitch bending needle, as shown in Figure 5.1



图 5.1: 4 Pin 接口

- From left to right number 1, 2, 3, 4. They are defined as follows:
- • No. 1 Pin: connected to VCC power supply (DC 5V).
- • 2 Pin: connected to the external circuit of the Trig side, enter a pin above the 10uS above the high level, can trigger the module ranging.
- • 3 Pin: access the external circuit Echo side, when the distance measurement, this pin will output a high level, the width of the ultrasonic round trip time and the sum.
- • No. 4 Pin: access to the external circuit of the ground.  
地。

### **Lisa C** Ultrahelianduri US015 programm

```
const int trigPin = 3;

const int echoPin = 4;


void setup() {
    Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
    long duration, cm, mm;

    pinMode(trigPin, OUTPUT);

    digitalWrite(trigPin, LOW);

    delayMicroseconds(2);

    digitalWrite(trigPin, HIGH);

    delayMicroseconds(10);

    digitalWrite(trigPin, LOW);

    pinMode(echoPin, INPUT);

    duration = pulseIn(echoPin, HIGH);

    Serial.print(cm);

    Serial.print("cm, ");

    Serial.print(mm);

    Serial.print("mm");

    Serial.println();
}
```

```
    delay(100);  
}  
  
long microsecondsToMillimeters(long microseconds)  
{  
    // The speed of sound is 340 m/s or 29 microseconds per centimeter.  
    // The ping travels out and back, so to find the distance of the  
    // object we take half of the distance travelled.  
    return microseconds / 3.400 / 2;  
}
```

**Lisa D** Halli anduri KY003 tööprogramm

```
const int hallSensorPin = 0;

const unsigned long sampleTime = 1000;

const int maxRPM = 3600;

int rpmMaximum = 0;

unsigned long passedtime;

void setup()

{

    pinMode(hallSensorPin,INPUT);

    Serial.begin(9600);

    passedtime = 0;

}

void loop()

{

    delay(100);

    int rpm = getRPM();

    if (rpm > rpmMaximum) rpmMaximum = rpm;

    lcd.clear();

    //displayRPM(rpm);

    Serial.print("RPM: ");

    Serial.println(rpm);

}

int getRPM()

{
```

```

int count = 0;

boolean countFlag = LOW;

unsigned long currentTime = 0;

unsigned long startTime = millis();

while (currentTime <= sampleTime)

{

    if (digitalRead(hallSensorPin) == HIGH)

    {

        countFlag = HIGH;

    }

    if (digitalRead(hallSensorPin) == LOW && countFlag == HIGH)

    {

        count++;

        countFlag=LOW;

    }

    currentTime = millis() - startTime;

}

int countRpm = 30 * 1000 / (millis() - passedtime) * count;

passedtime = millis();

return countRpm;

}

void displayRPM(int rpm)

{

    lcd.clear();

```



```

    lcd.setCursor(0, 0);

    lcd.print(rpm,DEC);

    lcd.setCursor(7,0);

    lcd.print(rpmMaximum, DEC);

    lcd.setCursor(13,0);

    lcd.print("MAX");

    Serial.print("RPM = ");

    Serial.print(rpm);

    Serial.print(" MAX RPM = ");

    Serial.println(rpmMaximum);
}

void displayBar(int rpm)
{
    int numOfBars=map(rpm,0,maxRPM,0,15);

    lcd.setCursor(0,1);

    if (rpm!=0)
    {
        for (int i=0; i<=numOfBars; i++)
        {
            lcd.setCursor(i,1);

            lcd.write(1023);

        }
    }
}

```

## **Lisa E** Seadme tööprogramm

```
#include <LiquidCrystal.h>

#include <DFR_Key.h>

/*Key Codes (in left-to-right order):

None - 0

Select - 1

Left - 2

Up - 3

Down - 4

Right - 5 */

// LCD display and button variables

LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);

DFR_Key keypad;

int localKey = 0;

String keyString = "";

//Ultrasound pin locations

const int trigPin = 2;

const int echoPin = 3;

// Variables for rpm calculations

int rpm;

unsigned long passedtime;

const int Hallsensorpin = 0;

const unsigned long sampleTime = 83;

void setup()
```

```

{
    // Set up LCD number of columns and rows

    lcd.begin(16, 2);

    lcd.clear();

    lcd.setCursor(0, 0);

    //digitalPinToInterrupt(Hallsensorpin)

    //attachInterrupt(0, isr, RISING);

    pinMode(Hallsensorpin, INPUT);

    rpm = 0;

    passedtime = 0; //Initialise the values

    //Intiates Serial communications

    Serial.begin(9600);

    lcd.setCursor(0,0);

    lcd.print("RPM: ");

    lcd.setCursor(0,1);

    lcd.print("UH moot: ");
}

void loop()
{
    //rpm = 60UL*1000* /(millis() - passedtime);

    passedtime = millis();

    rpm = getRPM();

    displayRPM(rpm);
}

```

```

Serial.print("passedTime: ");

Serial.println(passedtime);

//digitalPinToInterrupt(Hallsensorpin)

//attachInterrupt(1, isr, RISING);

pinMode(trigPin, OUTPUT);

digitalWrite(trigPin, LOW);

delayMicroseconds(2);

digitalWrite(trigPin, HIGH);

delayMicroseconds(10);

digitalWrite(trigPin, LOW);

pinMode(echoPin, INPUT);

duration = pulseIn(echoPin, HIGH);

// ultraheli anduri kauguse printimine

mm = microsecondsToMillimeters(duration);

Serial.print(mm);

Serial.println("mm");

lcd.setCursor(9,1); // move cursor to second line and print value

if (mm < 100)

{ lcd.print("  "); }

lcd.setCursor(9,1);

lcd.print(mm);

delay(83);

}

```

```

long microsecondsToMillimeters(long microseconds)
{
    return microseconds / 3.400 / 2;
}

int getRPM()
{
    int count = 0;

    boolean countFlag = LOW;

    unsigned long currentTime = 0;

    unsigned long startTime = millis();

    while (currentTime <= sampleTime)
    {
        if (digitalRead(Hallsensorpin) == HIGH)
        {
            countFlag = HIGH;

            //Serial.println("ma jõudsin esimesse iffi");
        }

        if (digitalRead(Hallsensorpin) == LOW && countFlag == HIGH)
        {
            count++;

            countFlag=LOW;

            //Serial.println("ma jõudsin teisse iffi");
        }
    }
}

```

```

    currentTime = millis() - startTime;

}

//int countRpm = int(60000/float(sampleTime))*count;

int countRpm = 30 * 1000 / (millis() - passedtime) * count;

//Serial.println("jõudsin arvutuse lõpuni");

return countRpm;

}

void displayRPM(int rpm)

{

    if (rpm==0)

    {

        lcd.setCursor(9,0);

        lcd.print("  ");

    }

    //lcd.clear();

    lcd.setCursor(9,0);

    lcd.print(rpm,DEC);

    Serial.print("RPM = ");

    Serial.println(rpm);

}

```

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, \_\_\_\_\_,  
(*autori nimi*)

sünniaeg \_\_\_\_\_,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_,  
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja(d) on \_\_\_\_\_,  
(*juhendaja(te) nimi*)

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,  
1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja  
1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;  
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_  
(*allkiri*)

Tartu, \_\_\_\_\_  
(*kuupäev*)

---

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_  
(*juhendaja nimi ja allkiri*)

\_\_\_\_\_  
(*kuupäev*)

---

*(juhendaja nimi ja allkiri)*

---

*(kuupäev)*